

Polimineral İçerikli Seramik Bir Numunenin Lüminesans Tekniklerle Eşdeğer Dozunun Belirlenmesinde Farklı Bir Yöntemin Kullanımı

Use of a Different Method in Determining the Equivalent Dose by Luminescence Techniques of a Ceramic Sample Containing Polyminerals

Mehmet ALTAY ATLIHAN^{1*}

¹Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Denizli, Türkiye.
aatlihan@pau.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 27.12.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 03.04.2019

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.75299

Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada arkeolojik kazıyla çıkarılmış polimineral içerikli bir seramik numunenin gömü boyunca çevreden soğurduğu radyasyon dozu (eşdeğer doz) bulunmuştur. Eşdeğer dozun belirlenmesi lüminesans yaş tayini araştırmalarında önemlidir. Kullanılan numune feldispat, kuvars gibi minerallere ayrıştırılmadan polimineral içerikli ve ince tanecik tekniğine uygun olarak hazırlanmıştır. Kullanılan numune için ön ısıtma sıcaklığı deneysel işlemler sonucunda belirlenmiştir. Hazırlanan numune 200 °C'de 12 dakika süreyle ön ısıtmaya tutulmuştur. Jeolojik veya arkeolojik numunelerde eşdeğer dozun belirlenmesi için sıklıkla kullanılan yöntemlerden farklı bir yöntem çalışmamızda ilk defa kullanılmıştır. Çalışmamızda bu yöntemin ayrıntılarından ve gözlenen avantajlarından bahsedilmiştir. Elde edilen eşdeğer doz değerleri 5,17±0,09 ile 7,06±0,29 Gy arasında değişmektedir.

Anahtar Kelimeler: Polimineral, Seramik, Lüminesans, Optik Uyarmalı Lüminesans, Isı Uyarmalı Lüminesans(Termolüminesans), Eşdeğer Doz

Abstract

In this study the radiation dose absorbed from the surrounding area was determined for a polyminerals ceramic sample that was found by an archeological excavation. Determination of equivalent dose is one of the critical points for luminescence dating researches. The sample used was prepared according to the polymeric content and fine grain technique without decomposing into minerals such as feldspar, quartz. The pre-heating temperature for the sample was determined as a result of experimental procedures. The prepared sample was preheated at 200 °C for 12 minutes. A different method was used for the first time in our study, which is different from the methods commonly used for determining the equivalent dose in geological or archaeological samples. The details and observed advantages of this method are mentioned in our study. The equivalent dose values obtained range from 5,17 ± 0,09 to 7,06 ± 0,29 Gy.

Key Words: Polyminerals, Ceramic, Luminescence, Optically Stimulated Luminescence, Thermally Stimulated Luminescence (Thermoluminescence), Equivalent Dose

1 Giriş

Toprağın yapısında bulunan uzun yarı ömürlü ²³⁸U, ²³²Th, ⁴⁰K gibi radyoizotoplar buldukları bölgede sürekli olarak α, β, γ radyasyonu yayırlar [1]. Yayımlanan radyasyonlar çevrede bulunan feldispat, kuvars gibi minerallerin kristal örgü yapısında elektronları serbest hale getirirler. Serbest kalan bu elektronlar kristal yapı kusurlarında tuzaklanırlar. Yapısal kusurlarında elektronlar tuzaklanan mineraller ışık fotonları ya da ısı enerjisiyle uyarıldıklarında, yeterli enerjiyi alan bu elektronlar tuzaklarından kurtulabilirler. Bunun sonucunda bir ışıma oluşur. Bu ışıma genel olarak lüminesans ışıması denir. Tuzaklanan elektronları tuzaklardan çıkarmak için gerekli enerji ışık fotonlarından sağlanıyorsa Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL), ısı yoldan sağlanıyorsa Termolüminesans (TL) adını alır. Numune tarafından soğurulan radyasyon dozu tuzaklanan elektronların sayısı dolayısıyla lüminesans ışımanın şiddeti ile orantılıdır [1]. Geçmişte son defa ışık ya da ısıya maruz kalan numunenin (sıfırlayıcı mekanizma) o andan günümüze kadar geçmiş olan sürede soğurduğu radyasyon doz miktarı belirlenebilir. Bunun için bilinen radyasyon dozu miktarlarına karşılık yayımlanan lüminesans ışıma şiddetleri ölçeklendirilmelidir. Tarihlendirme çalışmalarında, sıfırlayıcı bir mekanizmanın gerçekleştiği andan itibaren günümüze kadar geçen sürede örnekler tarafından çevreden soğurulan doza paleodoz ya da eşdeğer doz adı verilir [1]. Jeolojik ve arkeolojik malzemelerin tarihlendirilmesinde, radyoterapi tedavilerinde veya radyasyon kazalarında insanların almış olduğu radyasyon dozunun tesbiti gibi kişisel ve çevresel

dozimetre çalışmalarında lüminesans yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Tarihlendirmede kuvars, kalsit, feldispat gibi doğal mineraller veya doğal polimineral yapıdaki örnekler kullanılırken medikal çalışmalarda LiF bileşiği gibi laboratuvar ortamında üretilen sentetik dozimetrelere yaygın olarak kullanılmaktadır [1]-[7]. Tarihlendirme çalışmaları için herhangi bir alanda zeminde oluşan katmanlar o alanın geçmişle ilgili bilgiler taşır. Yapılan çalışmalarda bazı jeoloji teknikleri ve tarihlendirme çalışmalarıyla ulaşılan bilgiler kullanılarak incelenen fayların daha önceki hareketleri ele alınır ve bu sahalardaki deprem risklerinin tespitine yönelik analizler yapılır. Yapılan tarihlendirme çalışmalarıyla çalışılan fayın diri fay olup olmadığı ve deprem üretme periyodu hakkında bilgi edinilebilir [8], [9]. Benzer şekilde arkeolojik bir yerleşim alanında bulunan tarihi eserlerin tarihlendirilmesiyle de kazı yapılan alanın geçmişine ait önemli veriler toplanabilmektedir. Jeolojik ve arkeolojik kazılarda elde edilen numuneler için yapılan tarihlendirme çalışmalarında numunenin yaşı ile kastedilen, numunenin sıfırlayıcı mekanizmalar olan ısı veya ışığa son maruz kaldığı zamandan bugüne kadar geçen süredir. Tarihlendirme için kazı sonucu topraktan çıkarılan numunelerin gömülü kaldığı sürede çevreden soğurduğu radyasyon dozu (eşdeğer doz) bulunur. Ek olarak numunenin gömülü olduğu ortamda bir yıl içerisinde çevresinden soğurduğu radyasyon dozu da (doz hızı, yıllık doz) belirlenerek, geçmişte ısı işlem ya da ışığa maruz kalınan andan (lüminesansın sıfırlanması) günümüze kadar geçen zaman (yaş) hesaplanabilir. Bulunan toplam

eşdeğer dozun yıllık doza oranından da incelenen örneğin arkeolojik veya jeolojik yaşı hesaplanır [10].

Genellikle eşdeğer dozun belirlenmesi çalışmaları için alınan numuneler kırma, öğütme ve eleme gibi mekanik işlemlerle istenilen boyuta getirilip ardından HCl ve H₂O₂ asit çözeltileri içerisinde tepkimeler sona erene kadar bekletilirler. Bu şekilde toz haline getirilen numuneler ile alüminyumdan üretilmiş metal disklerin üzerleri kaplanarak çalışmada kullanılacak tabletler(diskler) elde edilir. Bu şekilde hazırlanan diskler (tabletler) eşdeğer doz ölçümlerinde kullanılır. Eşdeğer dozu bulurken genellikle "tek tablet yenileme" (SAR) ile "çok tablet ilave doz" (MAAD) yöntemleri veya bunların geliştirilmiş versiyonları uygulanır [10]-[12]. Bu iki yöntem arasındaki temel fark kullanılan numune miktarıdır. Yapılan ölçümlerde SAR'da tek tablet kullanımı yeterliyken MAAD'da genellikle yirmi civarında tablet kullanılır.

MAAD için hazırlanan disklerin birbirine özdeş olmaları gerekli olmasına rağmen üzerlerindeki malzeme miktarlarının eşit olmaması gibi nedenlerle çoğunlukla bu sağlanamaz. Bu nedenle kullanılan tabletler (diskler) birbirlerine normalize edilerek her bir disk için bir normalizasyon katsayısı bulunur. Bu işlem için yarım saniyeden daha az bir zaman diliminde diskler ışığa maruz bırakılarak lüminesans şiddetleri ölçülür. Bu sırada oluşan lüminesans nedeniyle toplam lüminesans şiddetinde oluşacak azalmanın %1 veya %2'den fazla olmayacak şekilde uyarma süresi seçilmelidir. Gereğinden uzun seçilen ışık uyarma süresi eşdeğer doza ait sinyali önemli ölçüde azaltarak hatalı sonuçlara neden olabilir. Buna benzer olarak ışığa maruz bırakma işleminin gereğinden daha kısa oluşu lüminesans sayımlarının yeterli olmamasına ve bunun sonucunda da bazı yanlışlıklara neden olabilmektedir. Nadiren normalizasyon için ölçümler tüm deneyler bittikten sonra da uygulanabilmektedir. Bu durumda ölçümler boyunca tabletlerin duyarlılığının değişmediği kabul edilmektedir. SAR yönteminde ise tek tabletle çalışılması nedeniyle hem normalizasyona ihtiyaç duyulmaması hem de az miktarda numunenin yeterli olması bu protokolün MAAD'a göre üstünlüğüdür. Fakat SAR'da kullanılan tablet için birkaç defa tekrarlanan ön ısıtma, lüminesans ölçümü, ışınlama işlemleri tabletin radyasyona duyarlılığını değiştirmektedir. Bu değişimin giderilebilmesi için SAR yöntemi farklılaştırılmış ve geliştirilmiştir [13].

Bu çalışmada eşdeğer dozun belirlenmesi için OSL ve TL teknikleri uygulanmıştır. OSL ölçümlerinde daha önce arkeolojik ve jeolojik tarihlendirme çalışmalarında eşdeğer dozu belirleme amacıyla kullanılmayan bir yöntem kullanılmış ve sonuçlar MAAD ve SAR ile karşılaştırılmıştır. Birkaç disk kullanılmasına rağmen normalizasyonu ve ön ısıtma - ölçme - sıfırlama - ışınlama döngüsünün tekrarlanmasını gerektirmeyen bu yöntem "Seçilmiş Tabletleri Yenileme" (SeAR) yöntemi olarak adlandırılmıştır. Bunlara ilave olarak TL tekniğinde MAAD yöntemi ile de ölçüm yapılmıştır. Çalışmamızda Muğla İl sınırları içerisinde bulunan Stratonikeia Antik Kentindeki Erikli Bazilikasından alınan Şekil 1'de yuvarlak halka ile gösterilen seramik parçası kullanılmıştır. Seçilen seramik parçası poliminerale-tanecikli numune hazırlama prosedürüne uygun olarak toz haline getirilmiş ve lüminesans ölçümleri yapılmıştır. Çoğunlukla tarihlendirme çalışmalarında tekli mineralin (kuvars veya feldspat) kullanılması daha çok tercih edilmiştir. Ancak poliminerale (çoklu mineral) örneklerle yapılan

metodoloji geliştirme veya doğrudan yaş tayini çalışmaları lüminesans tarihlendirmenin ileri sürüldüğü günden bugüne devam etmiştir [14] - [18]. Aitken [10] poliminerale örneklerle IR uyarım ile çalışılabileceğini ancak anormal sönüm ve ön ısıtma/sıcaklık deneylerinin ek olarak yapılması gerektiğini göstermiştir. Bu çalışma kapsamında ön ısıtma/sıcaklık deneyleri detaylıca yapılmıştır. Çalışmamız tarihlendirmeden daha ziyade önerilen yeni eşdeğer doz hesaplanma tekniğinin kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine olduğu için anormal sönüm etkisi dikkate alınmamıştır.



Şekil 1: Çalışmada kullanılan seramik malzeme resimde siyah halka içerisinde gösterilmiştir.

2 Deneysel İşlemler

2.1 Lüminesans Ölçüm Cihazları

Bu çalışmada OSL ölçümleri için ELSEC-9010 OSL okuyucusu kullanılmıştır. ELSEC-9010'da, 880±80nm dalgaboyunda kızılötesi (infrared) ışın üreten yirmidört adet LED ışık kaynağı numuneye yöneltilmiştir. Bu ışığın, oluşan lüminesans ışımayla birlikte sayılmasını engellemek amacıyla bu cihazda Schott-BG 39 marka optik filtre bulunur. Numunelerin ışınlanması (dozlama -radyasyona maruz bırakma işlemi) için yarı ömrü 28 yıl olan Sr-90/Y-90 beta ışın kaynağı kullanılmıştır. Bu kaynak için açma-kapatma işlemleri cihaz kontrolünde gerçekleştirilebilmektedir. TL okuyucu olarak maksimum ısıtma sıcaklığı 600°C olan, Harshaw-3500 Model TL okuyucusu kullanılmıştır. TL ölçümlerinde, okuyucunun ısıtıcı kısmına yerleştirilen tabletler belli bir sıcaklığa kadar sabit bir ısıtma hızıyla ısıtılmaktadırlar.

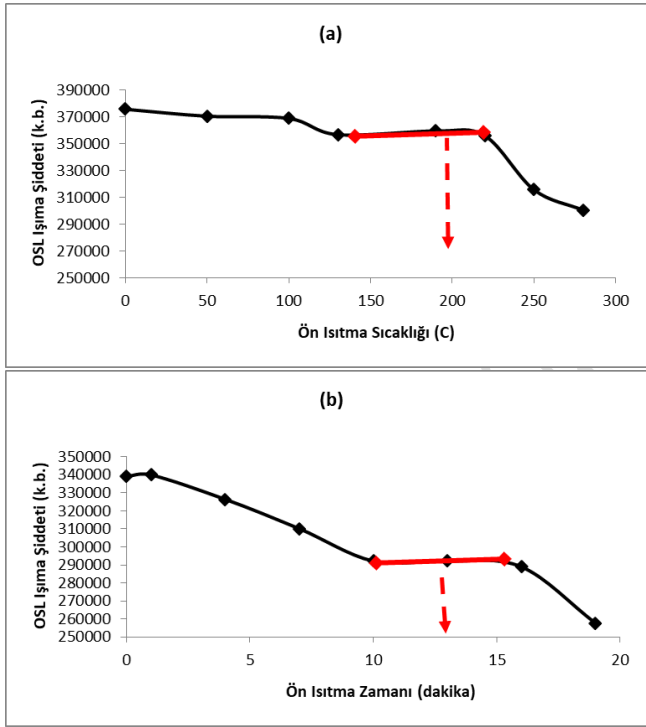
2.2 Numune Hazırlama

Günışığının lüminesans sinyalindeki sönümlenme etkisinden kurtulmak için laboratuvarındaki tüm işlemler kırmızı ışık altında yapılmıştır. Seramik parçanın günışığı görmüş dış yüzeyi (3mm) kesme ve kazıma işlemleriyle atılmıştır. Kalan kısım toz haline getirilene kadar yumuşakca ezilmiştir. Karbonat ve organik maddelerden temizlemek için bu numune sırasıyla %10'luk HCl ve %35'lik H₂O₂ ile yıkanmıştır. Daha sonra saf su ile temizlenen poliminerale içerikli malzeme kurutulup elenerek 20µm'nin altında tanecik boyutlu taneciklerden numune elde edilmiştir. Bu tanecikler silikon sprey yardımıyla 10 mm çaplı, 0,5 mm kalınlıklı alüminyum disklerin üzerine çok ince bir tabaka olarak yapıştırılmıştır. Bu şekilde üzerinde numune yerleştirilmiş ve lüminesans

ölçümlerde kullanıma hazır hale getirilmiş alüminyum disklerle tablet denilmektedir.

2.3 Ön ısıtma için sıcaklık ve süre tespiti

Lüminesans ölçümlerinden önce numuneler kısa yarı ömürlü kararsız tuzak elektronlarından kaynaklanan lüminesans sinyallerinin ölçümlere etkisini yok etmek için ön ısıtma işlemine tutulmalıdır. Ön ısıtma sıcaklığının belirlenmesinde 60 tane tablet (disk) hazırlanarak kullanılmıştır. Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) şiddetinin ön ısıtma sıcaklığı ve ön ısıtma zamanı ile değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu grafiklerde önce lüminesans sayımlarında ciddi bir düşüş sonra eğimsiz(düz) bir bölge ve tekrar azalma gözlenmektedir. Sayımlardaki ilk düşme kararsız tuzakların ısı etkisiyle boşalması ve düz bölge sonrasında ortaya çıkan düşüş ise kararlı tuzakların boşalması ile ilişkilidir. Grafiklerde olan 150-220°C ve 10-15 dakika aralığındaki düz kısımların orta bölgelerinde bulunan 200^o ve 12 dakika değeri önısıtma için uygun görülmüştür. Lüminesans çalışmaları ile ilgili bazı kitap ve makalelerde ön ısıtmanın hangi süreyle hangi sıcaklıkta yapılacağını belirlemek için izlenen işlemlerle ilgili ayrıntılı bilgiler verilmiştir[1], [8].



Şekil 2 (a): Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) şiddetlerinin ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak değişimi (b): Optik Uyarmalı Lüminesans (OSL) şiddetlerinin ön ısıtma zamanına bağlı olarak değişimi

2.4 Eşdeğer Doz(ED) Ölçümleri

Eşdeğer dozu belirlemek için OSL ölçümlerinde MAAD, SAR ve SeAR yöntemleri, TL ölçümünde ise sadece MAAD yöntemi kullanılmıştır. Tüm ölçümlerde ön ısıtma işlemi sonrası tabletler soğumaları için lüminesans ölçümlerinden önce 120 dakika ve ışınlamadan sonra ise bir gün ışığa maruz kalmayacak şekilde karanlık bir ortamda oda sıcaklığında

bekletilmişlerdir. OSL ölçümlerinde lüminesans ışıma ölçümleri 160s'lik süre içerisinde gerçekleştirilmiştir.

2.5 MAAD yöntemi_OSL

Numune kullanılarak her birisi dört (4) adet tablet içeren dört (4) grup'tan oluşan toplam 16 adet tablet hazırlanmıştır. Giriş bölümünde bahsedildiği şekilde bu tabletler için normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Bir grup tablet ışınlanmamış, diğer gruplar da 2, 5 ve 10 Gy beta dozu alacak biçimde ışınlanmışlardır. Işınlamanın ardından sırasıyla ön ısıtma, lüminesans ışıma ölçüm işlemi (sayım) yapılmıştır. OSL şiddetinin eklemeli beta dozlarıyla değişimini gösteren doz-cevap grafikleri çizilmiştir. Grafikte lüminesans ışıma şiddetinin sıfır olduğu duruma karşılık gelen doz miktarı(doğrunun x eksenini kestiği, y=0 olan nokta) eşdeğer dozu belirlemede kullanılmıştır.

2.6 SAR yöntemi_OSL

Bu yöntemle sonuç almak için bir tablet kullanımı yeterli olmasına rağmen sonuçları karşılaştırabilmek için 6 adet tablet kullanılmıştır. Hazırlanan tabletler herbiri birbirinden bağımsız olarak SAR yöntemiyle değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler birbirleriyle karşılaştırılarak tutarlı sonuçların oluşup oluşmadığı kontrol edilmiştir. Hazırlanmış tabletlere ön ısıtma işlemi uygulanmıştır. Ardından eşdeğer dozla ilişkili olan doğal lüminesans sayımlar alınarak kalıntı sinyal sıfırlanmıştır (ağartılmıştır). Bu tabletler sırasıyla 1 Gy doz alacak biçimde beta ışınlamasına, ışınlama sonrasında ön ısıtmaya maruz bırakılmış ve bu doz miktarıyla ilişkili lüminesans ışıma şiddetleri ölçülmüştür. Benzer işlemler daha yüksek beta doz değerleri (2, 4, 8 Gy) için tekrarlanarak doz - cevap eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen lüminesans ışıma şiddetlerinin artan beta radyasyon dozu ile doğrusal bir biçimde arttığı gözlemlenmiştir(Şekil 4).Bu doğruları geriye doğru extrapolasyonu ile eşdeğer doz değerleri belirlendi.

2.7 SeAR yöntemi_OSL

Bu yöntem için yaklaşık yirmi tane tablet hazırlandı. İlk olarak herhangi bir ışınlama yapmadan önce üzerlerinde bulunan eşdeğer doza karşılık gelen doğal lüminesans sayımları yapıldı. Aynı gruptaki disklerin lüminesans şiddetleri arasında en fazla %2 fark olacak şekilde birbirine en yakın sayımları veren tabletler beşerli dört gruba ayrıldı. Sonuç almak için tek grupta çalışmak yeterli olmasına rağmen sonuçların kesinliğini arttırmak amacıyla dört grup da kullanıldı. Herbir gruptaki tabletlerin eşdeğer doza karşılık gelmekte olan doğal lüminesans sayımlarının ortalaması hesaplanmıştır. İkinci işlem olarak gruplardaki tüm tabletlerin kalıntı sinyali sıfırlanmıştır. Sonrasında aynı grupta bulunan herbir tablet farklı miktarlarda beta dozu ile ışınlanmış (1, 2, 4, 6, 8 Gy) ve bu dozlara karşılık gelen lüminesans ışıma ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Son olarak gruplar için verilen dozlara bu dozlara karşılık gelen lüminesans sayımları arasında doz-lüminesans sayım grafikleri çizilmiştir. Herbir grup için daha önce hesaplanan doğal lüminesans ışıma ölçümlerinden elde edilen sayımların ortalama değerleri kullanılarak çizilen doz-cevap eğrilerinden eşdeğer dozlar tespit edilmiştir.

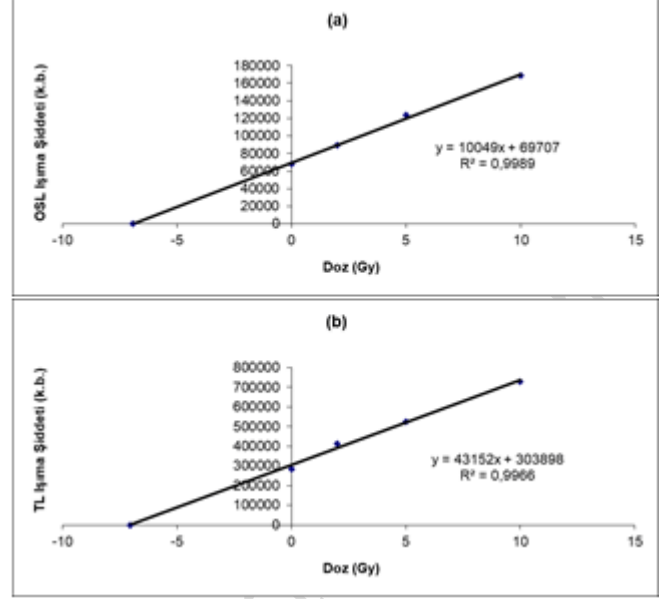
2.8 MAAD yöntemi_TL

TL'de MAAD yöntemi OSL'de uygulanan MAAD yöntemi ile aynı işlem döngüsüne sahiptir. Bu nedenle OSL yönteminde

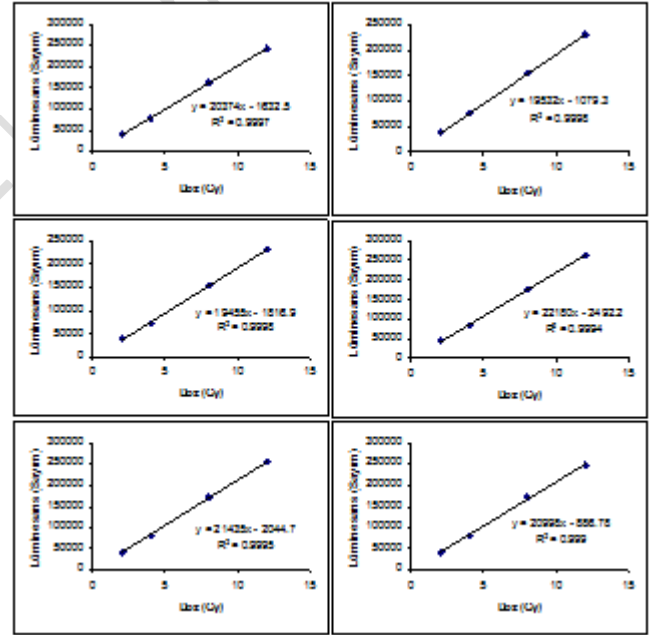
MAAD yöntemi için uygulanan işlemlerin aynısı TL yönteminde de aynen tekrar edilmiştir. Tek fark OSL yönteminde tuzak elektronlarını serbest hale getirmek için gereken enerji ışık fotonları tarafından sağlanırken, TL yönteminde bu enerji ısı yolla sağlanmaktadır. İncelenen numuneden hazırlanan tabletler TL ölçümlerinde 2°C/s doğrusal ısıtma hızıyla oda sıcaklığından 500°C'ye kadar ısıtılmışlardır. Eşdeğer dozu belirlemek içinse TL ölçümlerinde elde edilen ışınma eğrilerinde 250°C ve 350°C arasında lüminesans sağlayan uzun ömürlü kararlı tuzaklardan elde edilen sayım değerleri kullanılmıştır.

3 Sonuçlar

Bu çalışmada Stratonikeia Antik Kentinden alınan bir tuğla parçasının eşdeğer dozu OSL ve TL teknikleriyle bulunmuştur. Birbirlerini doğrulayıp doğrulamayacağını görmek için OSL ve TL yöntemlerinde eşdeğer dozun belirlenmesinde farklı yöntemler (MAAD, SAR, SeAR) kullanılmıştır. Çalışmamızda tanımlanan SeAR yöntemi ilk defa polimineral içerikli bir arkeolojik doğal malzemeye eşdeğer doz hesabı için uygulanmıştır. Öncelikle lüminesans ölçümlerinden önce numuneye uygulanacak olan ön ısıtma sıcaklığı ve süresini tespit için yapılan çalışma sonucunda ortaya çıkan verilerle Şekil 2(a)-(b)'deki grafikler çizilmiştir. Bu grafiklerdeki düz bölgenin (plato, sayım kararlılığı olan bölge) orta noktaları olan 200°C ve 12 dakika, bu numune için kullanılacak değerler olarak belirlenmiştir. Buna uygun biçimde çalışmamızda örnekler için ön ısıtma işlemi 200°C'de 12 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte kullanılan numune polimineral olmasına rağmen çalışmamız tarihlendirmeden daha ziyade önerilen yeni eşdeğer doz hesaplama tekniğinin kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine olması nedeniyle anormal sönüm etkisi araştırılmamıştır. Bu nedenle doz hesabında hata miktarı artmıştır. OSL ve TL'de kullanılan MAAD yöntemi sonucu elde edilen verilerle çizilen OSL şiddetinin eklemeli dozlarla değişimi sırasıyla Şekil 3(a)-(b)'de gösterilmiştir. Bu şekilde çizilen doğruların ekstrapolasyonu ile doz eksenini kestiği noktalar eşdeğer doz miktarlarını 6,94±0,18 Gy ve 7,04±0,31 Gy olarak vermiştir. SAR yönteminin OSL'de ki ölçümlere uygulanması sonucunda herbir disk için oluşturulan doz - cevap eğrileri Şekil 4'de verilmiştir. Bu doz-cevap eğrileri değerlendirilirken, ölçülen lüminesans ışınma şiddeti değerleriyle dozlar için hazırlanan grafiklerde oluşan doğrudan doğal lüminesans sayımlarına karşılık gelen dozlar (eşdeğer doz) belirlenmiştir. Altı tane tabletten elde edilen sonuçların ortalaması alınarak eşdeğer doz değeri 5,17±0,09 Gy olarak bulunmuştur. MAAD ve SAR yöntemine ilave olarak yukarıda tanımlanan SeAR yöntemi de OSL'de kullanılmıştır. SeAR uygulanması sonucu elde edilen verilerle çizilen doz-cevap eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Bu doz-cevap eğrileri de SAR yöntemi için yapılan değerlendirmeye benzer olarak değerlendirilmiştir.

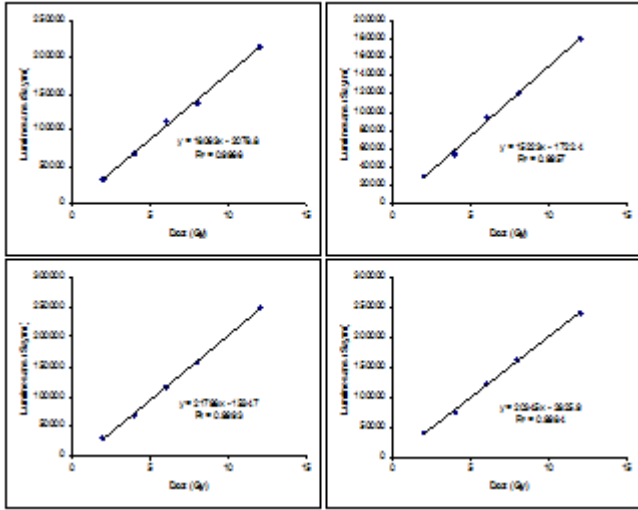


Şekil 3 (a): MAAD yönteminde OSL sayımlarının eklemeli dozlarla değişimi (b): MAAD yönteminde TL sayımlarının eklemeli dozlarla değişimi



Şekil 4: SAR yöntemiyle değerlendirilen altı tane tabletin doz-cevap eğrileri.

Bunun sonucunda eşdeğer doz için ortalama olarak 7,06±0,29 Gy değeri elde edilmiştir. TL ve OSL'de kullandığımız farklı yöntemlerle belirlenen eşdeğer doz değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu tablodan görülebileceği gibi hata sınırları içerisinde elde edilen sonuçlar birbirleriyle uyumludur. Sadece OSL'de kullanılan SAR yönteminden elde edilen sonuç diğerlerinden farklıdır. Bunun nedeni bu yöntemde birkaç defa tekrarlanan ısıtma-ön ısıtma-ölçüm-sıfırlama(ağartma) döngüsünün bazı numunelerde lüminesans duyarlılığının değişmesine neden olmasıdır[13].



Şekil 5: SeAR yönteminde kullanılan dört farklı grup için hazırlanan doz-cevap eğrileri.

Tablo 1: Tablo 1: OSL ve TL tekniklerinde farklı yöntemlerin kullanımı ile elde edilen eşdeğer doz değerleri.

TL ve OSL'de kullanılan yöntemler	ED (Gy)
MAAD -TL	7,04±0,31
MAAD -OSL	6,94±0,18
SAR -OSL	5,17±0,09
SeAR -OSL	7,06±0,29

Kullanılan SeAR yönteminin hem MAAD yönteminde kullanılan normalizasyona ihtiyaç duymaması hem de SAR yönteminde ortaya çıkan duyarlılık değişimine neden olmaması, bu yöntemin diğer yöntemlere göre daha tercih edilebilir bir yöntem olduğunu gösterir. İlave olarak SeAR yöntemde işlemler için gerekli süre SAR'a göre daha kısa ve ihtiyaç duyulan numune miktarı MAAD'a göre daha azdır. Ayrıca önerilen SeAR yönteminin yapılacak yeni çalışmalar kapsamında tekli mineraller kullanılarak farklı arkeolojik/jeolojik numuneler üzerinde kullanılabilirliğinin araştırılması uygun olacaktır.

4 Kaynaklar

[1] Aitken MJ. An introduction to optical dating. Oxford, England, Oxford University Press, 1998.

[2] Yoshimura EM, Yukihara EG. "Optically stimulated luminescence: Searching for new dosimetric materials". Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 250, 337-341, 2006.

[3] Öke G, Yurdatapan E. "Optically stimulated luminescence dating of pottery from Turkey". Talanta, 53, 115-119, 2000.

[4] Kortov V. "Materials for thermoluminescent dosimetry: Current status and future trends". Radiation Measurements, 42, 576 - 581, 2007.

[5] Fleming S. Thermoluminescence techniques in archaeology. Oxford, England, Clarendon Press, 1979.

[6] Atlıhan MA, Koralay T, Şahiner E. "Luminescence Dating And Mineralogical Investigations Of Bricks From Eriklı Basilica In Stratonikeia Ancient City (Sw-Turkey)" Mediterranean Archaeology and Archaeometry, 18(1), 77-91, 2018

[7] Şahiner E, Meriç N, Uygun S. "Luminescence (IRSL) dating of Yeni Rabat church in Artvin, Turkey." Radiation Physics and Chemistry, 86, 68-73, 2013.

[8] Yanchou L, Prescott JR, Hua Z, Jie C, Lanying W. "Optical dating of colluvial deposits from Xiyangfang, China, and the relation to palaeo-earthquake events". Quaternary Science Reviews, 21, 1087-1097, 2002.

[9] Atlıhan MA, Meriç N. "Luminescence dating of a geological sample from Denizli, Turkey". Appl. Radiat. Isot. 66, 69-74, 2008.

[10] Aitken MJ. Thermoluminescence dating. London, England. Academic Press, 1985.

[11] Wintle AG, Murray AS. "A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols". Radiation Measurements, 41, 369 - 391, 2006.

[12] Lu YC, Wang XL, Wintle AG. "A new OSL chronology for dust accumulation in the last 130,000 yr for the Chinese Loess Plateau". Quaternary Research, 67, 152-160, 2007.

[13] Duller GAT, Botter-Jensen L, Mejdahl V. "An Automated iterative procedure for determining paleodoses using the SARA method". Quaternary Geochronology, 18, 293-301, 1999.

[14] Zhang J, Li SH. "Constructions of standardised growth curves (SGCs) for IRSL signals from K-feldspar, plagioclase and polymineral fractions". Quaternary Geochronology, 49, 8-15, 2019.

[15] Liritzis I, Polymeris GS, Vafiadou A, Sideris A, Levy TE. "Luminescence dating of stone wall, tomb and ceramics of Kastrouli (Phokis, Greece) Late Helladic settlement: Case study". Journal of Cultural Heritage, 35, 76-85, 2019.

[16] Long H, Haberzettl T, Tsukamoto S, Shen J, Kasper T, Daut G, Liping Z, Mausbacher R, Frechen, M. "Luminescence dating of lacustrine sediments from T angra Y umco (southern Tibet plateau) using post-IR IRSL signals from polymineral grains". Boreas, 44(1), 139-152, 2015.

[17] Zhang J, Tsukamoto S, Nottebaum V, Lehmkuhl, F, Frechen M. "De plateau and its implications for post-IR IRSL dating of polymineral fine grains". Quaternary Geochronology, 30, 147-153, 2015.

[18] Schmidt C, Böskén J, Kolb T. "Is there a common alpha-efficiency in polymineral samples measured by various infrared stimulated luminescence protocols?". Geochronometria, 45(1), 160-172, 2018.